

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

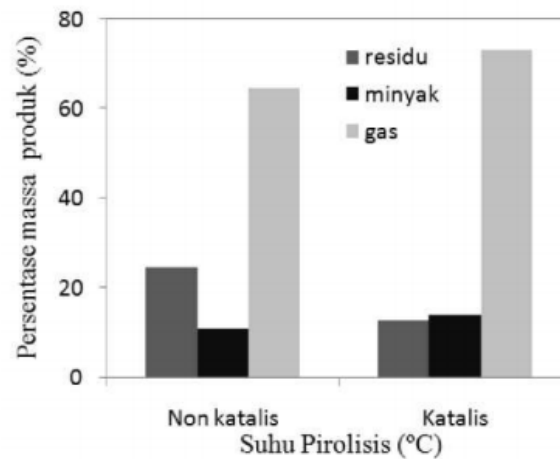
2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang pirolisis sudah banyak diteliti oleh peneliti sebelumnya. Banyak cara yang dilakukan oleh peneliti mulai dari variable maupun alat yang digunakan dalam penelitian sangat bervariasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan lebih lanjut dan mengetahui cara pemanfaatan limbah ban luar sepeda motor menjadi minyak yang nantinya bisa dikelola lebih lanjut menjadi bahan bakar. Agar penelitian lebih optimal dalam menghasilkan minyak ban, maka dilakukan variasi sudut pada kemiringan kondensor/pendingin. Dengan langkah ini diharapkan agar dapat menghasilkan minyak dari limbah ban luar sepeda motor ramah lingkungan secara maksimal dan untuk mengurangi pencemaran pada lingkungan.

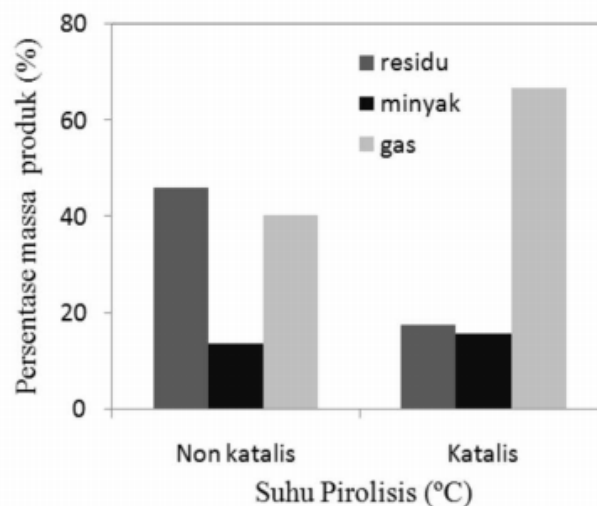
Pada penelitian sebelumnya yang menjadi bahan acuan dan pertimbangan yaitu penelitian (Syamsiro dkk, 2016). Pada penelitian pirolisis sampah ban dilakukan menggunakan reaktor tipe *rotary kiln* yang mempunyai ukuran diameter 260 mm dan panjang 400 mm. pirolisis dilakukan pada suhu 250 °C, 300 °C, dan 350 °C. Eksperimen dilakukan untuk dua jenis ban yaitu ban dalam dan ban luar yang telah dipotong kecil dengan ukuran 2 × 2 cm. Massa ban yang digunakan untuk setiap eksperimen adalah 500 gram. Percobaan menggunakan katalis dilakukan dengan menambahkan 15% katalis (75 gram) kedalam reaktor. Produk minyak tertinggi diperoleh pada suhu 350 °C sebesar 10,92% untuk ban dalam dan 13,6% untuk ban luar. Penggunaan katalis ini bertujuan untuk meningkatkan produk minyak baik ban luar maupun ban dalam. Di sisi lain residu yang dihasilkan ban luar lebih banyak dibandingkan dengan ban dalam. Hal ini disebabkan oleh kandungan karbon yang lebih tinggi dan hidrogen yang lebih rendah pada ban luar sehingga terjadi kekurangan hidrogen pada ban luar untuk dapat membentuk senyawa hidrokarbon. Hasilnya kemudian lebih banyak dihasilkan residu padatan yang berupa arang karbon. Hal ini juga dapat dilihat dari

total senyawa hidrokarbon yang terbentuk pada ban luar (minyak + gas) yang lebih sedikit di bandingkan dengan ban dalam.

Produk hasil pirolisis sampah ban dalam dan luar sebagai efek penggunaan katalis dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan 2.2 hasil penelitian (Syamsiro dkk, 2016).



Gambar 2.1 Distribusi hasil pirolisis sampah ban dalam sebagai efek penggunaan katalis suhu 350 °C (Syamsiro dkk, 2016)



Gambar 2.2 Distribusi hasil pirolisis sampah ban luar sebagai efek penggunaan katalis suhu 350 °C (Syamsiro dkk, 2016)

Gambar 2.1 dan 2.2 menunjukkan bahwa penggunaan katalis dapat sedikit meningkatkan produk minyak baik untuk ban luar maupun ban dalam. terjadi

peningkatan produk minyak sebesar 3.19 % untuk ban dalam dan 2.14 % untuk ban luar (Syamsiro dkk , 2016).

Pengujian karakteristik minyak hasil pirolisis sampah ban meliputi viskositas, densitas, dan nilai kalor. Karakteristik minyak yang dihasilkan dapat dilihat di Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik hasil minyak pada penelitian (Syamsiro dkk , 2016).

No.	Properties	Jenis Bahan	Katalis	Non Katalis
1	Viskositas (mPa.s)	Ban luar	1,14-2,11	1,31-1,92
		Ban dalam	1,18-2,42	1,58-2,16
2	Densitas (g/ml)	Ban luar	0,80-0,84	0,81-0,86
		Ban dalam	0,75-0,80	0,80-0,90
3	Nilai Kalor (Cal/g)	Ban	8467,09	

(Hasyim, 2017) juga melakukan penelitian, dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah ban bekas bagian dalam yang di potong-potong dengan ukuran 1×1 cm dan serabut kelapa sawit. Pirolisis dilakukan dengan variable bebasnya adalah temperatur 250 °C, 300 °C, 350 °C, 400 °C dan 450 °C. Untuk variable terikatnya adalah hasil cair yang ditinjau dari nilai viskositas, densitas, dan flash point. Sementara variable suhu kondensor dan tekanan sebagai variable kontrolnya. Hasil penelitian menunjukkan ban bekas dan serabut kelapa sawit untuk bahan bakar alternatif dengan perbandingan bahan baku 2,5 kg ban bekas dan 2,5 kg serabut kelapa sawit hasil terendah didapat pada suhu 250 °C dengan waktu selama 60 menit yaitu 120 ml. Sedangkan hasil terbanyak didapat pada suhu 450 °C dengan waktu selama 60 menit yaitu hasil yang didapat sebanyak 220 ml. Pengujian karakteristik minyak yang dihasilkan dari ban bekas dan kelapa sawit paling optimal diperoleh pada suhu 350 °C yaitu dengan nilai viskositas 33 mPa.s, densitas 0,79 g/ml, dan *flash point* 30 °C.

Penelitian pirolisis lain dilakukan oleh (Wiga, 2017) bahan yang digunakan dalam penelitian berupa ban bekas bagian dalam yang dipotong-potong dengan ukuran 1 × 1 cm, dengan katalis dengan variable bebasnya adalah variasi suhu kompor 400 °C, 500 °C, dan 600 °C. kuantitas minyak hasil pirolisis yang

dihasilkan berbeda-beda meskipun tidak terlalu signifikan. Dari hasil pengujian bahan ban bekas katalis dengan jumlah 2 kg menghasilkan minyak pirolisis dengan suhu kompor 600 °C pada laju pemanasan 8,5 °C/menit didapatkan hasil cairan sebanyak 21 ml. kemudian pada laju pemanasan 11,1 °C/menit hasil cair yang didapatkan sebesar 25 ml dan pada laju pemanasan 16,6 °C/menit hasil cair yang didapatkan 31 ml. laju pemanasan sangat berpengaruh pada hasil cair yang diperoleh. Semakin tinggi laju pemanasan hasil cair yang didapatkan akan semakin banyak. Untuk sifat karakteristik yang dimiliki dilihat dari nilai viskositas, *flash point*, dan densitas. Karakteristik minyak dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik hasil minyak pada penelitian (Wiga, 2017).

No	Properties	8,5 °C /menit	11,1 °C/menit	16,6 °C/menit
1	Viscosity	31 mPa.s	30 mPa.s	28 mPa.s
2	Flash Point	30 °C	31 °C	31 °C
3	Density	0,71 g/ml	0,72 g/ml	0,73 g/ml

Pada laju pemanasan 8,5 °C/menit cairan memiliki nilai viskositas 31 mPa.s. pada laju pemanasan 11,1 °C/menit didapatkan viskositas hasil cair tersebut sebesar 30 mPa.s. sedangkan pada laju pemanasan 16,6 °C/menit hasil viskositasnya adalah 28 mPa.s. Dari laju pemanasan 8,5 °C/menit titik flash point berada pada suhu 30 °C. Sedangkan pada laju pemanasan 11,1 °C/menit dan 16,6 °C/menit berada pada suhu 31 °C. Densitas tertinggi terdapat pada laju pemanasan 16,6 °C/menit dengan nilai densitas 0,73 g/ml. Dari hasil pembahasan mengenai sifat karakteristik minyak dari hasil pirolisis ban bekas dengan katalis memiliki hasil terbaik pada laju pemanasan 16,6 °C/menit. Pada laju pemanasan 16,6 °C/menit ini cairannya memiliki warna agak jernih dan hasil yang encer tanpa adanya endapan di bandingkan laju pemanasan 8,5 °C/menit dan 11,1 °C/menit.

(Mukharomah, 2017) juga melakukan yang sama bahan yang digunakan adalah ban bekas bagian dalam yang dipotong-potong dengan ukuran 1 × 1 cm, dan katalis zeolit dengan bentuk serbuk. Temperatur yang digunakan bervariasi dengan variabel bebasnya adalah 250 °C, 300 °C, dan 350 °C. Variabel kontrolnya

adalah suhu air didalam kondensor yang dibuat konstan pada suhu 26 °C dan tekanan didalam reaktor sebesar 1 atm. Sedangkan untuk sifat karakteristik minyak dilihat dari nilai viskositas, densitas, dan *flash point*. Hasil minyak ban bekas murni yang didapat, hasil terbanyak didapat pada suhu 350 °C dengan waktu selama 60 menit minyak yang dihasilkan sebanyak 190 ml. Sedangkan untuk ban bekas dan katalis zeolit hasil terbanyak pada suhu 350 °C dengan hasil sebanyak 165 ml. Bahan yang menggunakan campuran katalis memiliki hasil minyak yang lebih sedikit disebabkan karena bahan yang menggunakan katalis rantai panjang karbonnya akan dipecah oleh katalis sehingga hasil lebih banyak dalam bentuk gas dan hasil cairnya lebih sedikit. Sifat karakteristik minyak dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan 2.4.

Tabel 2.3 Karakteristik hasil minyak ban bekas murni pada penelitian (Mukharomah, 2017).

Properties	Suhu Pirolisis (°C)		
	250	300	350
Viskositas (mPa.S)	30	29	30
Densitas (g/ml)	0,73	0,71	0,73
Flash Point (°C)	30	29	30

Dari Tabel 2.3 menunjukkan bahwa nilai viskositas dari bahan ban bekas murni memiliki nilai terendah sebesar 29 mPa.s pada sampel suhu 300 °C, Nilai densitas yang diperoleh memiliki nilai terendah sebesar 0,71 g/ml pada sampel suhu 300 °C, dan nilai *flash point* terendah pada sampel 300 °C sebesar 29 °C.

Tabel 2.4 Karakteristik hasil minyak ban bekas dengan katalis zeolit pada penelitian (Mukharomah, 2017).

Properties	Suhu Pirolisis (°C)		
	250	300	350
Viskositas (mPa.S)	31	32	32
Densitas (g/ml)	0,78	0,79	0,79
Flash Point (°C)	29	30	29

Karakteristik hasil minyak ban bekas dengan katalis zeolit menunjukkan nilai viskositas terendah pada sampel suhu 250 °C sebesar 31 mPa.s, nilai densitas terendah sebesar 0,78 g/ml, dan *flash point* terendah sebesar 29 °C pada variasi suhu 250 °C.

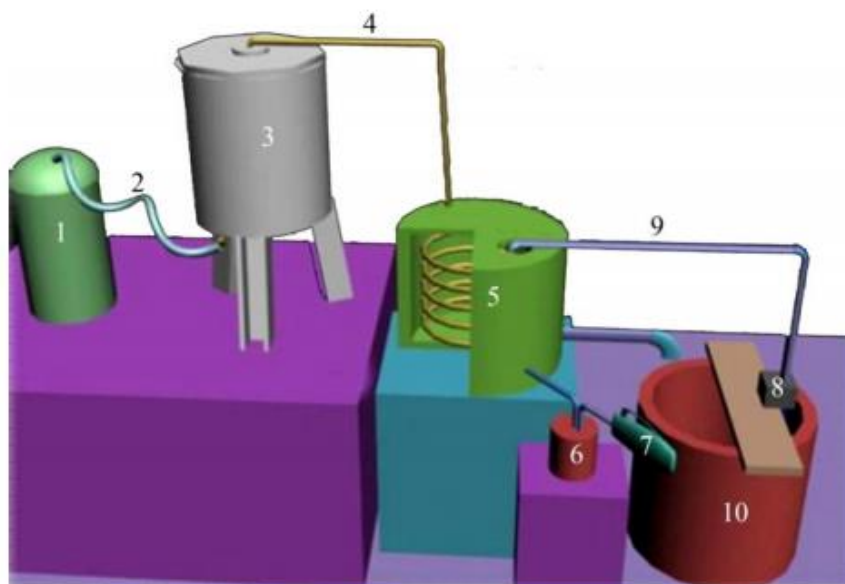
Penelitian lainnya dilakukan oleh (Santoso, 2010) dalam penelitian ini bahan yang digunakan berupa plastik jenis PP (*Poly Propylene*) dan LDPE (*Low Density Polyethylene*) temperatur yang digunakan tetap sebesar 300 °C, 350 °C, 400 °C, dan 450 °C. Pada pirolisis plastik jenis PP didapatkan hasil tertinggi pada temperatur 450 °C sebesar 66% minyak plastik pp, 5% gas dan 85% abu, sedangkan hasil terendah pada temperatur 300 °C sebesar 9% minyak, 31% gas, dan 31% abu. Kemudian pada pirolisis plastik jenis LDPE didapatkan hasil tertinggi pada suhu 450 °C dan terendah pada suhu 300 °C, masing-masing sebesar 66% dan 34%. Jumlah gas yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik LDPE mencapai presentase tertinggi pada suhu reaktor 400 °C dan terendah pada 300 °C sebesar 51% dan 26%. Sedangkan hasil abu tertinggi pada suhu reaktor sebesar 300 °C dan terendah pada suhu 400 °C dan 450 °C masing-masing sebesar 40% dan 6%. Untuk hasil karakteristik hasil pirolisis sampah plastik PP dan LDPE dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Karakteristik hasil minyak PP (*Poly Propylene*) dan LDPE (*Low Density Polyethylene*) (Santoso, 2010)

No	Properties	PP				LDPE			
		300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C
1	Viskositas (mPa.s)	0,35	0,38	0,47	0,53	0,40	0,57	0,61	0,75
2	Densitas (g/ml)	0,71	0,72	0,74	0,74	0,74	0,75	0,76	0,77
3	Nilai kalor (Cal/g)	10270,37	11017,96	9661,32	10222,60	9974,20	10602,37	9921,66	10905,70

Data viskositas dinamik menunjukkan kekentalan minyak tertinggi diperoleh dari hasil pirolisis plastik LDPE pada suhu 450 °C sebesar 0,75 mPa.s, kekentalan terendah didapat dari hasil pirolisis minyak PP dengan suhu 300 °C

sebesar 0,35 mPa.s dan nilai rata-ratanya adalah 0,51 mPa.s. Kemudian densitas tertinggi didapat dari hasil minyak LDPE pada suhu 450 °C sebesar 0,77 g/ml, nilai terendah dihasilkan dari hasil pirolisis minyak PP pada suhu 300 °C sebesar 0,71 g/ml, dan nilai rata-ratanya adalah sebesar 0,74 g/ml. Selanjutnya nilai kalor tertinggi didapat dari hasil pirolisis plastik PP pada suhu 350 °C sebesar 11017,96 Cal/g, nilai terendah didapat dari hasil pirolisis minyak PP pada suhu 400 °C sebesar 9661,32 Cal/g, dan nilai rata-ratanya sebesar 10349,19 Cal/g. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perbedaan jenis plastik sangat mempengaruhi karakteristik minyak, hal ini disebabkan komposisi dari minyak pirolisis PP dan LDPE berbeda. Untuk alat pirolisis sampah plastik PP dan LDPE dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema alat uji pirolisis sampah PP dan LDPE (Santoso, 2010)

Keterangan :

1. Tabung gas
2. Selang kompor gas
3. Reaktor pirolisis
4. Pipa minyak pirolisis

5. Unit pendingin
6. Tempat penampung minyak pirolisis
7. *Fan*
8. Pompa air
9. Pipa penyalur air
10. Bak penampung air

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pirolisis

Proses pirolisis merupakan proses perusakan (*destructive*) pada suatu bahan (*mass*) dengan menggunakan panas (*thermal*) yang dilakukan dalam keadaan tanpa oksigen atau minim oksigen, dengan kata lain proses degradasi *thermal* dengan sedikit atau tanpa oksigen (Falaaah dkk, 2013). Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C ketika komponen yang tidak stabil secara *thermal*, dan *volatile matter* pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya (Mukharomah, 2017).

Pirolisis proses yang digunakan untuk mendapatkan kembali energi yang terkandung didalam suatu material dengan melibatkan proses dekomposisi pada suhu tinggi (300-900 °C) pada kondisi tanpa oksigen (Syamsiro dkk, 2016). Proses pirolisis menghasilkan produk berupa bahan bakar padat yaitu karbon, cairan berupa campuran tar dan beberapa zat lain. produk lain adalah gas berupa karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan beberapa gas yang memiliki kandungan kecil. Hasil pirolisis berupa tiga jenis produk yaitu padatan (*charcoal/arang*), gas (*fuel gas*) dan cairan (*bio-oil*) (Ridhuan dan Suranto, 2016).

Pirolisis merupakan salah satu alternatif pengolahan sampah kota yang dipandang cukup propektif untuk dikembangkan karena memiliki rasio konversi yang tinggi, produk-produknya memiliki kandungan energi yang tinggi produk-produk yang dihasilkan dapat ditingkatkan menjadi bahan dasar keperluan lain

serta pengontrolan proses yang lebih mudah bila dibandingkan dengan proses insenerasi (Hutomo dan Winarno, 2015).

Menurut (Sudarwanto, 2016), pirolisis terbagi menjadi 2 yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer adalah pirolisis yang terjadi pada bahan baku, sedangkan pirolisis sekunder yaitu pirolisis yang terjadi diatas partikel dan gas/uap hasil dari pirolisis primer. Menurut (Nindita, 2012) pirolisis secara umum dapat dikategorikan menjadi beberapa bagian yaitu, pirolisis cepat (*fast pyrolysis*), pirolisis lambat (*slow pyrolysis*), pirolisis kilat (*flash pyrolysis*), dan pirolisis katalitik.

a. Pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*)

Pirolisis cepat adalah proses pirolisis dengan peningkatan pemanas/temperatur dan perpindahan panas yang tinggi. Pirolisis ini dilakukan pada temperature 400-500 °C dengan lama pemanasan kurang dari 2 detik. Biasanya metode pirolisis cepat ini akan menghasilkan produk utama yaitu *bio-oil* (Brigwater, 2003).

b. Pirolisis lambat (*Slowly Pyrolysis*)

Pirolisis lambat adalah proses pirolisis yang dilakukan pada laju pemanasan secara lambat. Biasanya proses ini menghasilkan produk lebih banyak berupa gas dan arang sedangkan *bio-oil* sedikit (Goyal, 2008).

c. Pirolisis Kilat (*Flash Pyrolysis*)

Proses pirolisis kilat berlangsung pada waktu hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi.

d. Pirolisis katalitik

Pirolisis katalik adalah proses pirolisis yang menggunakan katalisator. Katalisator ini berfungsi sebagai pemecah hidrokarbon rantai panjang dan menjadikannya hidrokarbon rantai pendek (C_1-C_5). Selain itu katalisator juga dapat meningkatkan kecepatan pada dekomposisi dan memperbesar produk cair hasil pirolisis.

Pirolisis limbah ban bekas merupakan suatu teknologi yang masih perlu dikembangkan kembali. Kendala yang sering di temui dalam proses pirolisis adalah kurang optimalnya proses kondensasi sehingga mempengaruhi hasil. Didalam reaktor terjadi kontak kontak antar fluida gas dan limbah ban bekas. Kontak ini menyebabkan terbawanya material hidrokarbon yang telah mengalami *cracking* atau biasa disebut perengkahan. Sering terjadi penyebaran fluida gas yang tidak merata saat proses kontak berlangsung. Hal ini biasanya disebabkan karena adanya penggelembungan, penorakan, dan saluran-saluran fluida yang terpisah. Kontak antar fluida dari limbah ban bekas dengan fluida pendingin menyebabkan menjadi tidak maksimal. Hal tersebut berpengaruh pada minyak ban yang dihasilkan. Gas/uap yang tidak terkondensasi akan terbang ke lingkungan sekitar dan mengurangi kualitas minyak limbah ban bekas yang dihasilkan.

Hasil dari pirolisis limbah ban bekas berupa asap cair (*Bio-oil*), abu/arang yang merupakan sisa dari pembakaran gas yang terkondensasi dan gas yang tidak terkondensasi. Minyak hasil dari pirolisis limbah ban bekas memiliki sifat karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan karakter BBM yang beredar dipasaran. Karena kemiripannya, maka minyak hasil pirolisis limbah ban bekas dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak alternatif yang dapat didaur ulang karena lama kelamaan energi konvensional lambat laun menipis.

2.2.2 Ban

2.2.2.1 Pengertian Ban

Ban berbahan dasar karet merupakan salah satu jenis polimer sintetis (*polystirene*). *Polistyrene* adalah molekul yang memiliki berat molekul ringan, terbentuk dari monomer *stirena* yang berbau harum. Kelebihan dari *polystirene* adalah ringan, keras, tahan panas, agak kaku, tidak mudah patah dan tidak beracun (Damayanti dan Martini, 2009). Karet *butadiene* juga digunakan untuk membuat ban. Karet *butadien* merupakan karet yang dibuat secara kepolimerisasi *butadiene* dan *stirena*. Sifatnya bervariasi, bergantung pada perbandingan mol kedua bahan.

Biasanya komposisi campurannya adalah 5-6 *butadien* dan 1 mol *stirena* (Surdia dan Saito, 2005).

Perindustrian otomatis semakin berkembang pada setiap tahunnya limbah ban bekas semakin meningkat karena produksi ban semakin pesat. Limbah ban bekas termasuk kedalam limbah non-organik. Komposisi untuk penyusun ban bervariasi sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh pabrik pembuatnya. Kandungan yang terdapat didalam ban yaitu Karbon 85, 16%, Hidrogen 7,27%, Oksigen 0,54%, Nitrogen 0,38%, Sulfur 2,30%, dan Ash 4,36% (Galvago dkk, 2012). Komposisi karet ban luar dan ban dalam secara umum komposisinya berbeda untuk setiap bagiannya dan mempunyai standar tertentu. Semakin berkembangnya teknologi, banyak ragam dan jenis dari produk karet ter Vulkanisasi yang dibuat guna memenuhi kebutuhan konsumen (Thamrin, 2004). (Nieves, 2014) juga berpendapat tentang komposisi penyusunan ban. Untuk komposisinya dapat dilihat pada Tabel 2.5 dibawah ini.

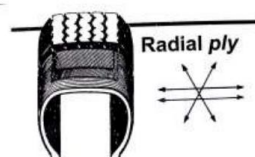
Tabel 2.6 Komposisi pembuatan ban menurut
(Nieves, 2014).

Komposisi Ban	
<i>SBR (Styrene – Butadien Rubber)</i>	60 – 65 %
<i>Carbon Black</i>	29 -31 %
<i>ZnO</i>	2 – 3 %
<i>Sulfur</i>	1 – 2 %

Berdasarkan konstruksinya ban dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu ban radial, ban *belted*, dan ban bias (Sunanto dkk, 2013).

a. Ban Radial

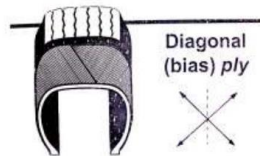
Pada ban jenis radial ini benang lawon atau kawat baja yang ditunen untuk *ply* yang tersusun secara melingkar. Konstruksi jenis ban radial di lengkapi dengan beberapa sabuk (*belt*) gunanya untuk memperkuat telapak (*trad*).



Gambar 2.4 Konstruksi radial *ply* (Sunanto dkk, 2013)

b. Ban Bias

Ban jenis merupakan ban luar yang benang-benang kanvasnya disusun berselang secara diagonal terhadap pada garis lingkaran tengah-tengah telapak (*trad*).



Gambar 2.5 Konstruksi bias *ply* (Sunanto dkk, 2013)

c. Ban *Belted*

Ban jenis *belted* mempunyai sabuk (*belt*) yang terbuat dari benang atau kawat baja. Ban *belted* juga dibedakan menjadi 2 macam yaitu ban bias *belted* dan ban radial *belted*.

2.2.3 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair merupakan senyawa gabungan hidrokarbon yang didapatkan dari alam ataupun secara buatan. Bahan bakar cair yang konvensional umumnya berasal dari minyak bumi. Dimasa mendatang bahan bakar cair yang berasal dari tar *sands*, *oil shale*, batubara dan biomassa akan semakin meningkat. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit sulfur, nitrogen, oksigen, sedikit sekali metal, dan mineral. Dengan kemudahan penggunaan, ditambah tingginya efisiensi termis, serta pengangkutan dan penanganan yang relatif mudah, menyebabkan penggunaan minyak bumi sebagai sumber utama penyedia energi semakin meningkat. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi terbaik, mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan, dan nilai kalornya cenderung sangat konstan.

Ini adalah beberapa kelebihan bahan bakar cair dibandingkan dengan bahan bakar padat antara lain sebagai berikut :

- a. Penanganannya relatif mudah
- b. Kebersihan dari hasil pembakaran
- c. Menggunakan alat bakar yang lebih kompak

Dan salah satu kekurangan pada bahan bakar cair ini adalah harus menggunakan proses pemurnian yang cukup kompleks (Wiratmaja, 2010). Semakin banyaknya kendaraan yang diproduksi di Indonesia dari tahun ketahun mengalami peningkatan minyak bumi yang relatif tinggi. Peningkatan kebutuhan bahan bakar minyak bumi ini tidak diimbangi dengan peningkatan produksi bahan bakar minyak, sehingga menyebabkan lebih besar kebutuhan bahan bakar dibandingkan dengan ketersediaan bahan bakar. Sejak tahun 2000, Indonesia sudah menjadi *net importer* minyak. Penurunan jumlah cadangan minyak yang disertai dengan pengurangan produksinya mencapai 10% per tahun (Kuncahyo dkk, 2013).

2.2.4 Karakteristik Bahan Bakar

Karakteristik bahan bakar cair yang dipakai untuk penggunaan tertentu, seperti pembakaran pada mesin atau peralatan-peralatan yang menggunakan bahan bakar pastilah memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik ini yang akan menentukan sifat-sifat dalam proses pembakaran. Untuk mengoptimalkan hasil pembakaran bahan bakar cair yang akan digunakan, sebaiknya perlu mengetahui karakteristiknya terlebih dahulu. Secara umum karakteristik bahan bakar cair yang perlu diketahui adalah sebagai berikut :

2.2.4.1 Titik nyala (*flash point*)

Titik nyala (*flash point*) adalah suhu terendah suatu bahan bakar minyak dimana akan menimbulkan nyala api sesaat, ketika permukaan minyak tersebut di dekatkan nyala api. Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran yang bisa terjadi. Titik nyala ini tidak berpengaruh besar dalam persyaratan pemakaian bahan bakar minyak untuk mesin diesel dan ketel uap. Beberapa contoh titik *flash point* bahan bakar minyak dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.7. Tabel *Flash point biodiesel* (Dermanto, 2008)

Bahan Bakar	Flash Point
Bensin	7,2 °C
Solar	51,6 °C
Biodiesel	148,8 °C

2.2.4.2 Viskositas (*Viscosity*)

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan ukuran hambatan (kekentalan) suatu fluida untuk mengalir atau ukuran besarnya tahanan geser dari fluida. Viskositas suatu fluida akan menurun dengan meningkatnya temperatur. Semakin besar nilai viskositas suatu fluida maka akan semakin kental dan sulit mengalir. Sebaliknya jika nilai viskositas rendah fluida semakin encer dan lebih mudah mengalir. Di dalam fluida cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat cair. sedangkan dalam gas, viskositas ditimbulkan akibat tumbukan antara molekul gas. Cara mengukur besar viskositas adalah dengan *viscometer*, dan hasil (besarnya viskositas) yang didapat harus disebutkan nama *viscometer* yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran.

Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang optimal. Jika minyak terlalu kental akan menyulitkan pada saat proses pemompaan, sulit menyalakan *burner*, dan sulit untuk dialirkan. Atomisasi yang jelek mengakibatkan terbentuknya endapan karbon pada ujung atau dinding *burner*. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk proses atomisasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi viskositas adalah sebagai berikut (Rana, 2015) :

a. Tekanan

Naiknya suatu tekanan sebanding dengan naiknya cairan viskositas, sedangkan viskositas gas tidak dipengaruhi oleh tekanan.

b. Temperatur

Naiknya suhu mengakibatkan turunnya nilai viskositas, sedangkan naiknya viskositas gas diimbangi dengan naiknya suhu. Pemanasan zat cair menyebabkan molekul-molekulnya mendapatkan energi. Molekul-molekul

cairan akan bergerak sehingga gaya antar molekul melemah. Dengan demikian viskositas cairan akan turun dengan kenaikan temperatur.

c. Kehadiran zat lain

Penambahan gula tebu dapat meningkatkan viskositas air. Adanya bahan tambahan seperti bahan suspensi dapat menaikkan viskositas air. Pada minyak ataupun gliserin adanya zat penambah berupa air akan menyebabkan nilai viskositas menurun karena minyak maupun gliserin akan semakin encer, sehingga waktu alirnya semakin cepat.

d. Ukuran dan berat molekul

Viskositas akan naik bersamaan dengan naiknya berat molekul. Misalnya laju aliran alkohol cepat, laju aliran larutan minyak lambat dan kekentalannya tinggi sehingga viskositasnya juga tinggi.

e. Ikatan Rangkap

Viskositas akan naik jika ikatan rangkap antar molekul semakin banyak.

f. Kekuatan antar molekul

Viskositas air mengalami kenaikan dengan adanya ikatan molekul hidrogen, viskositas molekul CPO dengan gugus OH pada trigliserida naik secara bersamaan.

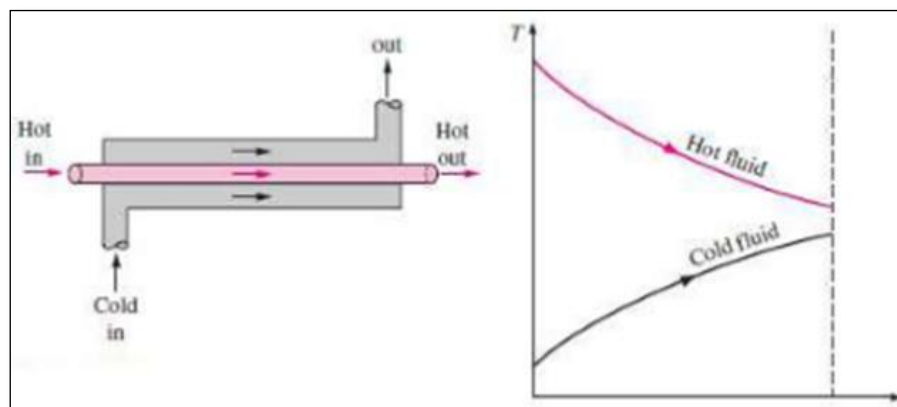
2.2.4.3 Nilai Kalor (*Calorific Value*)

Nilai kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas (kalori) dari hasil proses pembakaran bahan bakar dengan udara / oksigen. Nilai kalor bahan bakar minyak umumnya berkisar antara 18,300 – 19,800 Btu/lb atau 10,160 – 11,000 Kcal/kg. Nilai kalor berbanding terbalik dengan berat jenis (*density*). Semakin besar berat jenis minyak maka semakin kecil nilai kalornya, sebaliknya semakin kecil berat jenis minyak maka semakin besar nilai kalornya. Nilai kalor atas untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran menggunakan oksigen bertekanan pada *bomb calorimeter*. Peralatan ini terdiri dari *container stainless steel* yang dikelilingi bak air yang besar. Penggunaan bak air bertujuan untuk meyakinkan bahwa temperatur akhir dari produk akan berada sedikit diatas temperatur awal reaktan, yaitu 25 °C (Wiratmaja, 2010).

Nilai kalori dari bensin / premium dengan angka oktan 90-96 adalah sebesar $\pm 10,500$ Kcal/kg dan nilai kalor minyak solar adalah 10,800 Kcal/kg. Nilai kalori diperlukan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin. Umumnya nilai kalor dinyatakan dalam satuan Kcal/kg atau Btu/lb (satuan *british*).

2.2.5 Tipe Aliran Sejajar (*Parallel Flow*)

Tipe aliran sejajar atau biasa disebut dengan *parallel flow* adalah penukaran kalor dengan fluida panas dan fluida dingin, dimana masuk dan keluarnya fluida arahnya sama (Cengel, 2003). Skema dan grafik rata-rata ΔT dalam aliran *parallel flow* dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.6 Skema *parallel flow* (Sumber: Cengel, 2003: 668).

Rumus untuk mencari laju perpindahan panas *parallel flow*:

$$q = m.c (T_3 - T_2) \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan : m = Laju massa fluida (kg/s) untuk debit 12 liter / menit = 0,2 kg/s

c = Kalor jenis air (4180 J / kg °C)

T_3 = Suhu keluar fluida pendingin (°C)

T_2 = Suhu masuk fluida pendingin (°C)